

氏 名	風 間 基 樹
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 5 年 3 月 18 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 56 年 3 月 東北大学工学部土木工学科卒業
学 位 論 文 題 目	土圧を受ける重力式港湾構造物の地震時安定性に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 柳沢 栄司 東北大学教授 尾坂 芳夫 東北大学教授 須田 熙 東北大学教授 柴田 明德

論 文 内 容 要 旨

近年、港湾構造物は沿岸域の開発に伴って大水深域への展開が進み、大型化が顕著である。地震の多い我国では、構造物の断面が地震時で決まることが多いため、大型化する港湾構造物を経済的に建設するための、より合理的な耐震設計法が求められている。

本研究は、港湾構造物のうち土圧を受ける重力式港湾構造物を対象として、その地震応答特性及び、構造物に作用する地震時土圧を解析的、実験的に明らかにし、同構造物の地震時安定性について考察したものである。

第 1 章 序 論

構造物の地震時安定性を検討する場合、地盤と構造物の動的相互作用の解明が重要な課題である。構造物は周辺地盤から地震力を受けて振動し、また構造物の振動は、周辺地盤を介して入力地震動に影響するためである。動的相互作用を考慮することは、重力式港湾構造物の地震時安定性に係わる地震外力（慣性力、地震時土圧）の合理的な評価、更には、経済的な耐震設計法の確立にもつながるものであるが、現在の耐震設計法では、地盤と構造物の動的相互作用の効果は取り入れられておらず、実務レベルでこの効果を取り入れることが課題となっている。

第 2 章 土圧を受ける構造物の地震時安定性に関する既往の研究

本研究に関わる既往の研究として、①土圧を受ける構造物の地震応答、②地震時土圧、③重力式港湾構造物の地震時安定性、④模型振動実験の相似則、⑤遠心力場の模型振動実験の 5 つの項目についての研究を整理した。

第3章 剛体—地盤ばねモデルによる重力式港湾構造物の地震応答解析

重力式構造物—周辺地盤系の地震応答解析のための剛体—地盤ばねモデルを提案した。同モデルは、対象とする系のモデル化が簡単で、構造物に作用する慣性力や動的土圧合力、底面摩擦力が陽な形で表現されることが特長である。次に、構造物と周辺地盤の動的相互作用が剛体構造物の地震応答に及ぼす影響を検討するため、同モデルを用いて空間的に異なる地震動を受ける構造物の応答を、質量のない構造物の応答（Kinematic Interaction）と構造物の質量に起因する応答（Inertial Interaction）に分離した。Kinematic Interactionによる応答は、有効地震動と呼ばれるが、鉛直下方から地震波が入射する場合、有効地震動は構造物側方の地震動の位相差の関数となり、構造物の高さに比較し、底面の幅が大きいほど、底面から同位相で入力される地震動の影響が強くなる。一方、Inertial Interactionによる地震応答は、共振振動数付近のみに顕著に現れるだけであることを示し、周辺地盤の減衰が大きく、上部工が大きくない剛な構造物の応答は有効地震動で表され構造物の質量の影響が小さいことを明らかにした。最後に、剛体—地盤ばねモデルと二次元有限要素振動解析プログラムFLUSHおよび地震観測の結果を対比し、同モデルの妥当性を示した。

第4章 ケーソンに作用する地震時土圧の1G場における模型振動実験と解析

1G場における模型振動実験から、ケーソンに作用する地震時土圧の特性を検討した。既往の実験と異なる点は、地震時土圧の発生機構を地盤のみの特性から検討するのではなく、構造物—地盤全体系の振動現象としてとらえていることである。実験から、ケーソンに作用する動的土圧に振動数依存性があること、ケーソンの質量に比例して動的土圧が大きくなることを明らかにしている。また、実験で計測された動的土圧の深さ方向分布形は三角形分布ではなく、図-1に示すように、ケーソンと地盤の間の相対変位の分布と対応することも明らかにしている。したがって、これら結果から動的土圧は、背後地盤の物性のみからではなく、ケーソン・地盤全体系の振動現象からとらえる必要があると言える。また、実験結果を剛体—地盤ばねモデルで解析し、同モデルの適用性を示した。なお、これら実験結果は現行の地震時の塑性平衡状態を考えた土圧理論では説明できないことも明らかにした。

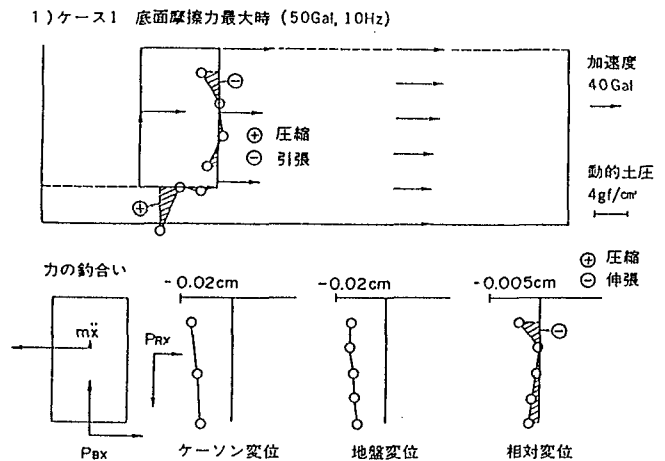


図1 動的土圧と地盤・ケーソン間の相対変位の関係

第5章 遠心力場における模型振動実験

遠心力場における模型振動実験手法の原理，その問題点を明らかにし，同手法をケーソン式港湾構造物の地震時安定問題に適用した結果について考察した。まず，模型振動実験と実物現象を結びつける一般的な模型振動実験の相似則を導き，この相似則の特別な場合として，遠心力場の相似則を示し，同実験手法の有効性を示した。次に，遠心力場での運動方程式や相似則に基づいて，土材料を用いたモデル化について考察し，同実験手法の適用上の限界や問題点，振動実験上の留意事項を明らかにした。また，遠心力場の模型地盤のせん断波速度の把握方法を提案し，遠心力場の模型砂地盤のせん断波速度の深さ方向分布が，従来の要素試験から得られたものとほぼ同じであることを確認した。

なお，本研究で用いた遠心力载荷装置中で稼働する振動実験装置は，筆者らの手によって国内で初めて実用化されたものであり，その詳細を記述した。

ケーソン式港湾構造物の地震時安定に関する1G場と40G場の実験結果をそれぞれ1G場の相似則，遠心力場の相似則を用いて同一規模の実物に換算し，数値計算により両者を比較した。図-2は背後地盤の応答加速度，図-3は最大動的土圧合力の比較結果である。計算では，地盤のせん断波速度の拘束圧依存性の効果を明らか

かにするため，その深さ方向分布を一樣としたもの，および5分割，10分割した計算を実施している。図から，地盤物性の拘束圧依存性を細かく考慮するほど，実験値と計算値の対応がよくなるのがわかる。また，遠心力場の実験の方が1G場の実験よりも数値計算結果とよく一致していることもわかる。したがって，高々10mの厚さの地盤でも地盤物性の拘束圧依存性を考慮することが重要であり，遠心力場の相似則の方が1G場の相似則よりも適用性が高いと言える。これは，遠心力場の実験では1Gから所定の遠心力場に移行する段階で，初期応力状態もこれに応じて実物の応力状態に近くなるため，初期応力状態の再現に有利に働くのに対し，1G場の実験では自重に起因する平衡状態が再現しにくいととえられる。

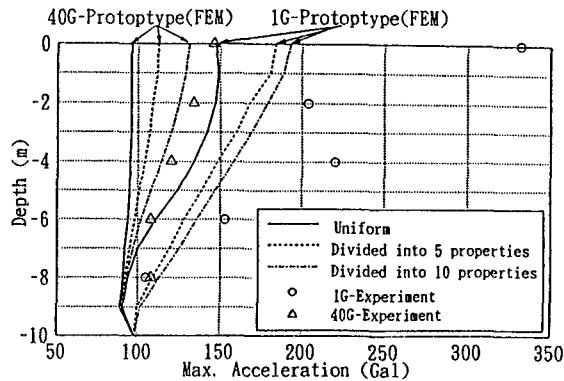


図2 背後地盤の最大加速度分布に及ぼす地盤物性の拘束圧依存性の影響（実験値と計算値の比較）

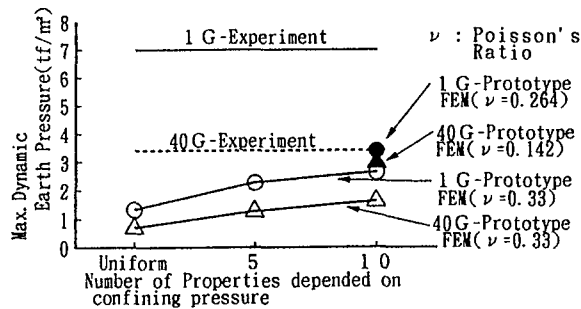


図3 最大動的土圧合力に及ぼす地盤物性の拘束圧依存性の影響（実験値と計算値の比較）

第6章 研究成果の設計への応用について

本章では、まず、震度法に基づく現行設計法の現状および問題点を整理した。次に、1G場から40G場までの模型振動実験結果をまとめ、構造物に作用する地震時外力の特性を土圧合力および底面摩擦力の構造物の慣性力に対する振幅比、位相差を用いて表現した。また、これら特性を2質点モデルを用いて解析し、これら構造物の地震時外力の特性が、側方地盤の振動特性によって変化することを示し、実験結果を定性的に説明した。これら振動数に依存する地震外力を考慮するため、底面摩擦力の慣性力に対する振幅比の設計スペクトルを用いて、設計用滑動外力を算定することを提案した。また、外力の振動数が低い疑似静的な場合の試設計を行い、提案法による設計方法が経済的となることを示した。

第7章 結 論

本章では、本研究の結論および今後の課題をまとめた。

審 査 結 果 の 要 旨

近年、港湾構造物の大規模化および大水深化に伴い、重力式港湾構造物の合理的な耐震設計法の必要性が高まってきている。本論文は、ケーソン式港湾構造物の地震時安定性を評価するために、ケーソンの地震応答が簡単に求められる剛体-地盤ばねモデルを用いた解析方法を新たに提案するとともに、模型振動実験によりその振動性状と解析結果の妥当性を明かにしたもので、全編7章よりなる。

第1章は緒論であり、研究の背景と目的を述べている。

第2章は、重力式港湾構造物の地震時安定性に関する過去の研究成果を述べ、本研究の位置づけを明確にしている。

第3章では、新たな応答解析法として剛体-地盤ばねモデルを提案し、その解析結果を地震観測結果や従来のFEM解析結果と比較して、その適用性と妥当性を論じている。

第4章では、ケーソン式構造物に作用する地震時土圧の特性を1G場における模型振動実験によって調べ、地震時土圧分布が従来言われている分布形状と異なることを示している。また、剛体-地盤ばねモデルを用いて解析し、模型実験結果と良い一致をみることを示すとともに、解析から地震時土圧合力の算定が簡便に行なえることを示した。これは新しい有用な知見である。

第5章では、最新の模型実験手法である遠心力模型振動実験によるケーソン構造物の地震時安定性についての実験方法と結果を示すとともに、二次元有限要素法を用いた等価線形応答解析結果と比較している。この結果、遠心力場における実験は、実物に近い初期応力状態を再現することが可能であり、1G場における実験よりも信頼性の高い実験が可能であることを示している。これは実用上重要な知見である。

第6章は、現行の耐震設計法である震度法の問題点を明かにするとともに、第3章から第5章までの研究成果を総合して、重力式港湾構造物の地震時安定性の新しい検討方法を提案している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、重力式港湾構造物の地震時応答を解析する簡便な手法である剛体-地盤ばねモデルを提案するとともに、地震観測結果と二種類の模型振動実験結果から、地震時土圧が従来設計に用いているものと異なる性状を示すことを見だし、地震時安定性に関して新たな設計法の提案を行なうなど、土木工学および土質工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。